

Bodenzustand, Ernährungszustand und Wachstum von Fichten (*Picea abies* Karst.) auf Probeflächen des Friedenfelser Verfahrens in der Oberpfalz

Soil Chemistry, Nutrition and Growth of Norway Spruce (*Picea abies* Karst.) on Sample Sites of the Friedenfels (Upper Palatia, Germany) Amelioration Experiment

Von A. v. MAMMEN, M. BACHMANN, J. PRIETZEL, H. PRETZSCH und
K. E. REHFUESS

Zusammenfassung

Das Friedenfelser Verfahren zur Melioration degraderter und podsolierter Phyllit-Substrate in der nördlichen Oberpfalz wurde von Forstmeister Ebert 1924 initiiert und von Forstmeister Baur ab 1931 weiterentwickelt. Zur Überprüfung wurden auf drei standörtlich vergleichbaren, für die Entwicklung des Verfahrens charakteristischen Probeflächen mit verschiedenartiger Meliorationsintensität sowie auf einer Referenzfläche jeweils drei vitale, vorherrschende Fichten gefällt, nadel- und stammanalytisch untersucht. Auf jeder Probefläche wurden außerdem ein Leit-Bodenprofil analysiert und der bodenchemische Zustand (Gehalte und Vorräte an C und N, pH, effektive Kationenaustauschenschaften) für die Standfläche der Probebäume durch repräsentative Beprobung gekennzeichnet.

Auf Fläche I (schwache, punktuelle Kalkung ins Pflanzloch nach Streunutzung unter lichtem Kiefernschirm) war nach sieben Jahrzehnten kein Meliorationseffekt nachweisbar; die Fichten litten hier unter ausgeprägtem N-Mangel, waren auch schwach mit P und Mg versorgt, und ihr Wachstum entsprach nur einer III,7 Bonität nach WIEDEMANN (1936). Die Melioration auf Fläche II (Streunutzung, Kalkung mit 30 dt ha⁻¹ CaO unter lichtem Kiefernschirm) hat den Volumenzuwachs der Probebäume über mindestens 40 Jahre stark beschleunigt. In der organischen Auflage ist das C/N-Verhältnis eingengt, pH-Wert und Basensättigung sind angestiegen. Die gut ernährten Fichten wachsen entsprechend einer I,6. Bonität. Die Intensivmelioration des Versuchs III (Kahlschlag, Streunutzung, Stockrodung, Vollumbbruch, Kalkung mit 40 dt ha⁻¹ CaO, Mitbau von N-Sammlern) hat beträchtliche C- und N-Verluste bewirkt, jedoch das C/N-Verhältnis bis 30 cm Tiefe, die Humusgehalte, die Basensättigung und die Ca-Vorräte im obersten Mineralboden auch noch 70 Jahre nach dem Eingriff deutlich verbessert. Die Fichten sind hier noch immer mit N, Ca und Mg sehr gut versorgt und erreichen eine I,1 Bonität.

Aus den Ergebnissen dieser Experimente werden Vorschläge für ein optimiertes Meliorationsverfahren und für die Wiederholung von Kalkungsmaßnahmen abgeleitet.

Schlüsselwörter: Podsole, Phyllit, Kalkung, Melioration, Stamm- und Blattanalysen, Humus- und Stickstoff-Vorräte, Kationenaustauschenschaften, Langzeiteffekte, Wuchsbeschleunigung.

Summary

The Friedenfels experiment was initiated in 1924 by the forester EBERT to ameliorate degraded podzol soils derived from phyllite in the northern part of Upper Palatia. The forester BAUR continued development of the project until 1931. The results of the experiment were derived from 3 experimental plots each with identical site properties representing 3 characteristic developmental stages of the approach with different amelioration intensities as well as from a reference area. Stem and foliar analyses were performed with 3 vital dominant Norway spruce trees on each plot. In addition, a characteristic soil profile per site was analyzed and soil chemistry (concentrations and total amounts of C and N, reaction and effective cation exchange properties) of the area around the sample trees was determined by area-representative sampling.

7 decades after the start of the trials no amelioration effect could be identified on experimental plot I (addition of small amounts of CaO into the planting holes of spruce after litter removal beneath a

thin shelter stand of Scots pine). The sample trees here suffered from severe N, (P, Mg) deficiency and their growth corresponded to site class III.7 according to WIEDEMANN (1936). The amelioration on plot II (litter removal, liming with 30 dt ha⁻¹ CaO before planting under a thin cover of Scots pine) accelerated growth for at least 40 years and resulted in an increase of base saturation and pH and a decrease of the C/N-ratio in the organic layer only. The spruce trees are still well supplied with all of the nutrients and are growing according to site class I.6. The most intensive amelioration of experiment III (clear-cutting, removal of stumps and litter, deep tillage, liming with 40 dt CaO ha⁻¹, and establishment of N-collecting species together with spruce) caused considerable C and N losses, but improved the C/N relations down to 30 cm depth. In addition, C concentrations, base saturation and the amount of exchangeable Ca in the uppermost mineral soil still show increases even 70 years after the manipulation. N, Ca and Mg nutrition of the trees is still adequate and they are growing according to site class I.1. From the results of these experiments conclusions are drawn with regard to an optimized amelioration technique under the present conditions and to the replication of liming.

Keywords: Podzol soils, phyllite, liming, amelioration, stem and foliar analysis, organic matter, nitrogen amounts, cation exchange properties, long term effects, acceleration of growth.

1 Einleitung und Fragestellung

In den beiden Jahrzehnten nach dem 1. Weltkrieg haben sich vor allem Forstpraktiker intensiv bemüht, die überwiegend im 19. Jahrhundert durch Streunutzung, Kahlschlag, übermäßige Holznutzung, Waldweide und Brände devastierten, damals von schwach wüchsigen Kiefern- und Fichtenbeständen bestockten Standorte zu meliorieren. Ihr Ziel war es, wüchsige Mischbestände zu begründen und sowohl die Wuchsleistung als auch den betriebswirtschaftlichen Ertrag nachhaltig zu steigern. Dabei stützte man sich auf die Erfahrungen aus ersten tastenden Versuchen mit Kalkung, Düngung, Bodenbearbeitung und Leguminosen-Mitanbau, die schon seit der Wende vom 19. zum 20. Jahrhundert angelegt worden waren (WIEDEMANN 1927, 1932, WAGNER 1998, HEINSDORF 2001). In der Oberpfalz und im angrenzenden Sächsischen Vogtland entstanden so ab etwa 1920 das Bodenwöhler, das Ebnather, das Friedenfelser und das Adorfer Verfahren (BAUR 1948, AMBERG 1949, MELZER 1961, SEITSCHKEK 1962, HOCHTANNER und SEITSCHKEK 1964, WAGNER 1998), für die jeweils charakteristische Versuchsflächen angelegt wurden.

Der 2. Weltkrieg unterbrach diese Versuchs- und Entwicklungsarbeit. Erst ab etwa 1950 knüpfte man an diese Bestrebungen wieder an, wertete die mittlerweile 20- bis 30-jährigen Experimente aus, diskutierte deren Ergebnisse intensiv in der Fachliteratur und legte bis etwa 1965 eine weitere Generation von Düngungs- und Meliorationsversuchen an (WITTECH 1952, 1954 und 1956, MELZER 1961, SEITSCHKEK 1962, LAATSCH 1963, BREDOW-STECHOW 1963, HOCHTANNER und SEITSCHKEK 1964, ASSMANN 1965).

Nach 1965 gerieten die vor dem 2. Weltkrieg angelegten Praxisversuche weitgehend in Vergessenheit. Dies ist angesichts der in der Zwischenzeit in den Blickpunkt des wissenschaftlichen Interesses gerückten standorts- und waldwachstumskundlichen Probleme zwar verständlich, aber trotzdem zu bedauern; denn wegen der langen Laufzeit bergen diese frühen Experimente wertvolle Informationen insbesondere zur Wirkungsdauer von Meliorationseingriffen wie Kalkung, Düngung und Bodenbearbeitung.

Das Friedenfelser Verfahren ist einer dieser frühen Ansätze zur Sanierung von Natur aus armer, durch forstliche Misswirtschaft zusätzlich degradiertes Substrate. Es entstand ab 1924 auf Phyllit-Standorten des Steinwaldes im Forstbetrieb Friedenfelser der Freiherrn v. Gemmingen-Hornberg (seit 1885) im Landkreis Tirschenreuth. Initiator war der langjährige Leiter dieses Forstbetriebs Forstmeister K. Ebert (1892–1929); das Verfahren wurde von seinem Nachfolger Forstmeister F.X. Baur (1930–1964) entscheidend weiter entwickelt (AMBERG 1949, BAUR 1990). Während man zunächst nur Kalk in steigender Dosierung ausbrachte, entstand später durch zusätzliche Bodenbearbeitung und Hilfs-

pflanzenanbau ein kombiniertes Verfahren, das den Übergang von Kiefern-Krüppelwald V. Bonität (ET Schwappach 1902) zu wüchsigen Fichten-Lärchen-Mischbeständen ermöglichen sollte. Dank der Orts- und Geschichtskennntnisse von G. Baur, der die weitere Entwicklung der Versuche seines Vaters ertragskundlich verfolgte, war es möglich, drei für die Entwicklung des Friedenfelder Verfahrens charakteristische, standörtlich vergleichbare Versuchsflächen einwandfrei zu identifizieren und zusammen mit einer Referenzfläche umfassend boden-, ernährungs- und waldwachstumskundlich zu untersuchen (V. MAMMEN 2001).

Dabei interessierten wir uns für folgende Fragen:

- Lassen sich rund 7 Jahrzehnte nach Durchführung der Meliorationsmaßnahmen noch Nachwirkungen auf den chemischen Zustand der Oberböden und den Ernährungszustand der Fichten nachweisen?
- Haben die damaligen Eingriffe das Wachstum der nach Melioration begründeten Bestände nachhaltig gefördert?
- Welche Schlussfolgerungen ergeben sich aus den standorts- und waldwachstumskundlichen Befunden für die Melioration ähnlicher Phyllitstandorte unter heutigen Bedingungen?

2. Untersuchungsgebiet, Standort und Versuchsflächen

Die Friedenfelder Versuche liegen bei der Ortschaft Poppenreuth im Distrikt IV Östlicher Brand Abt. 8 des Forstbetriebs im Wuchsbezirk Steinwald (Wuchsgebiet Frankenwald, Fichtelgebirge und Steinwald (BAYER. LWF 2001). Der Steinwald (540–950 m ü. NN) vermittelt zwischen dem Fichtelgebirge im Nordwesten und dem Oberpfälzer Becken- und Hügelland im Süden und ist ähnlich dem Fichtelgebirge im Kern aus Graniten aufgebaut, an die rändlich metamorphe Gesteine anschließen, darunter kambrische und ordovizische Phyllite; in diesen dominieren Quarz und Serizit, während Biotite und Feldspäte stark zurücktreten. Die regionale natürliche Waldgesellschaft sind Buchen-Tannen-Fichtenwälder auf saurem Substrat (BAYER. LWF 2001).

Die Versuchsflächen liegen am flachen Nordabfall des Steinwaldes zwischen 670 und 690 m ü. NN auf Podsolen aus Phyllitschutt. Die Jahresdurchschnittstemperatur dürfte 6,2°C, der mittlere Jahresniederschlag etwa 1000 mm erreichen. Die Vorbestände waren 51–86-jährige, durch Eis- und Schneebruch stark verlichtete Kiefernkrüppelwälder. Forstmeister Ebert begann die Versuchsreihe 1924 mit weiterer Lichtung des Vorbestands und dem Abzug von Bodenvegetation (Heide und Beerkraut) und Auflagehumus, einer schwachen Kalkung (Ätzkalk CaO; Menge nicht bekannt) nur in die Pflanzlöcher und der Pflanzung von Fichte (1 × 1 m) und wenig Europäische Lärche und Weißerle unter Kieferschirm, der schon in den Folgejahren stark ausgedünnt wurde (**Versuch I**). Die Fläche verheidete schon nach wenigen Jahren erneut; die Weißerle fiel weitgehend aus, und das Wachstum von Fichte und Lärche blieb völlig unbefriedigend (durchschnittliche Höhe der Fichten 1948: 1,8 m). Deshalb legte Ebert 1927 ein zweites Experiment an (**Versuch II**). Auch hier wurde ein lichter Kieferschirm übergehalten und der Auflagehumus entfernt. Nach flächiger Kalkung mit 30 dt ha⁻¹ Ätzkalk (CaO; 2150 kg Ca ha⁻¹) pflanzte man unter Verzicht auf jegliche Bodenbearbeitung ebenfalls Fichten mit 10% Eur. Lärchen und Weißerlen (1 × 1 m). Das Wachstum aller drei Baumarten war von Anfang an besser als jenes der Bäume im Versuch I (mittlere Höhe der Fichten 1948: 3,9 m). Mit **Versuch III** strebte F.X. Baur darüberhinaus eine grundlegende Sanierung des Substrates an. Der gesamte Vorbestand wurde im Herbst 1931 geräumt, Bodenbewuchs und organische Auflage wurden abgezogen, die Stöcke gerodet, ein Vollumbruch auf 30–40 cm Tiefe durch-

geführt und 40 dt ha^{-1} Ätzkalk (CaO ; $2860 \text{ kg Ca ha}^{-1}$) mit einer Scheibenegge flächig eingearbeitet. Im Frühjahr 1932 pflanzte man im Zaunschutz Fichten ($1 \times 1 \text{ m}$) und Weißerlen ($1 \times 4 \text{ m}$) und säte zwischen die Pflanzreihen abwechselnd Kiefer, Eur. Lärche und Birke bzw. Dauerlupine und Ginster. Weide und Vogelbeere kamen von selbst an. Die Kiefernfaat fiel durch Schütte bald aus, ebenso der Ginster. Dagegen gedieh die Lupine anfangs vorzüglich, blühte schon im ersten Jahr nach der Saat, deckte nach 2 Jahren den Boden fast vollständig und verhinderte das Aufkommen von *Calluna vulgaris* und *Vaccinium spec.* 1948 erreichten die Fichten Mittelhöhen von 7,0 m, die Lärchen eine solche von 7,5 m (BAUR 1948).

Zwischen den drei Experimentalflächen ist außerdem ein Rest der Vorbestockung als etwa 115-jähriges Fichten-Kiefern-Altholz erhalten geblieben, das nach dem Kenntnisstand von 1999 keinerlei Meliorationseingriffe erfahren haben sollte. Erst nach Vorliegen der Boden- und Nadelanalysen stellte sich heraus, dass eine Teilfläche dieses Bestandes in Wegnähe um 1960 zufällig gekalkt wurde. Vermutlich geschah dies in Zusammenhang mit der unmittelbar benachbart durchgeführten Begründung eines Lärchen-Buchenbestandes nach Kalkung und Vollumbruch. Aus diesem Grund eignet sich dieses Altholz (Referenzfläche 0) nur eingeschränkt für Vergleiche, nämlich nur hinsichtlich seines Wachstumsverhaltens vor 1960.

3. Material und Methoden

Bodenanalysen

Auf allen vier Probeflächen wurde im November 1999 jeweils eine etwa $0,1\text{--}0,2 \text{ ha}$ große, für Standort (Sondierung mit dem Pürckhauer-Bohrer) und Bestand repräsentative Kernfläche ausgewählt und markiert. Auf jeder Kernfläche wählten wir drei vorherrschende, gut bekronte und vitale Fichten aus, die maximal 50 m voneinander entfernt stockten, aber nicht miteinander konkurrierten. In der Mitte einer gedachten Verbindungslinie zwischen jedem Probebaum und seinen drei nächsten Nachbarn wurden im Sommer 2000 die gesamte organische Auflage (L-, Of- und Oh-Horizont) mittels eines Stechrahmens von $20 \times 20 \times 10 \text{ cm}$, der Mineralboden bis 30 cm Tiefe in 10 cm-Tiefenstufen mittels eines Kammerbohrers (4 Bohrungen pro Entnahmestelle) und die Tiefenstufen 30–50 und 50–70 cm mit Hilfe eines Pürckhauer-Bohrers (ebenfalls $4 \times$ pro Entnahmestelle) beprobt. Die im Umfeld einer Probefichte gewonnenen Einzelproben wurden jeweils tiefenstufenweise zu Mischproben zusammengefasst, um den analytischen Aufwand in Grenzen zu halten. Für jede Probefläche und jede Tiefenstufe waren somit 3 Mischproben verfügbar, entstanden durch Zusammenwerfen von jeweils 12 Einzelproben für den Mineralbodenbereich und 9 Einzelproben für die organische Auflage. Außerdem wurde im Zentrum jeder Kernfläche ein charakteristisches Leitprofil angelegt, sorgfältig beschrieben, fotografiert und horizontweise beprobt.

Die so gewonnenen Proben wurden nach dem Trocknen und Sieben mit Standardmethoden auf ihren pH-Wert in $0,01 \text{ M CaCl}_2$, ihre effektive Kationenaustauschkapazität (Schüttelextrakt mit $0,5 \text{ M NH}_4\text{Cl}$; Messung des extrahierten Ca, Mg, K, Na, Al, Fe und Mn am ICP-OES (Perkin-Elmer Optima 3000), H rechnerisch hergeleitet aus dem pH-Wert des Extrakts) und auf die C_r - und N_r -Gehalte (an fein gemahlene Aliquoten mittels Leco-Analysator CHN 100) analysiert (Einzelheiten bei V. MAMMEN 2001). Von den getrockneten Proben wurde außerdem die Gesamtmasse (organische Auflagen) bzw. das Feinerderaumgewicht (Mineralboden) bestimmt. Dies ermöglichte eine Umrechnung von Elementgehalten in flächenbezogene Elementvorräte.

Nadelanalysen

Im Dezember 1999 wurden die Probefichten gefällt und daran die jüngsten Spitzentriebe des 7. Wirtels geerntet. An fein gemahlene, trockene Proben dieser halbjährigen Nadeln bestimmten wir die N-Gehalte an einem Makro-N-Analysator Heraeus, die Gehalte an P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn und Al nach Druckaufschluss in konzentrierter HNO₃ am ICP-OES (Perkin Elmer Optima 3000).

Stammanalysen

An den gefällten Bäumen erhoben wir die Stammdurchmesser in Stockhöhe, in 1,00, 1,30, 1,50 und 2,00 m Entfernung vom Abhieb sowie ab 3 m regelmäßig in 2 m-Abständen durch um 90° versetzte Zweifach-Messung. Danach wurden Stammscheiben in Stockhöhe, in 1,30, 6,0, 10,5, 15,0, 19,5 und 23,0 m, danach alle 2 m bis zur Baumspitze herausgeschnitten. Diese Scheiben wurden getrocknet und anschließend plangeschliffen, auf einem DIN A3-Flachbett-Scanner N/S-orientiert eingelegt und daran die Jahrringe mit Hilfe eines speziellen Software-Programms (WINDENDRO) auf 0,01 mm genau vermessen. Nach manueller Korrektur zweifelhafter Jahrringgrenzen wurden die erhaltenen Dendrogramme anhand negativer Weiserjahre (insbesondere 1923 und 1995) synchronisiert und die dabei identifizierten Fehler korrigiert. Aus den so gewonnenen Datensätzen konnte die Durchmesser-, die Höhen-, die Grundflächen- und die Volumentwicklung für jeden Probbaum rekonstruiert werden. Einer der Probäume auf Fläche III war rotfaul. Dieses Versuchsdesign zielt somit auf eine detaillierte Analyse der Entwicklung vorherrschender Bäume ab; es ist für eine Diagnose des Bestandeswachstums ungeeignet.

Statistische Auswertung der Ergebnisse der Boden- und Nadelanalysen

Die Ergebnisse der Boden- und Nadelanalyse ($n = 3$ pro Prüfvariante) wurden einer statistischen Auswertung unterzogen. Die Mittelwerte verschiedener untersuchter Parameter für die einzelnen Prüfvarianten prüften wir mittels einfaktorieller Varianzanalyse und nachgeschaltetem LSD-Test nach Tukey auf statistische Signifikanz ($p < 0,05$) der Differenzen. Dabei verwendeten wir das Programmpaket SPSS 10.0 für Windows.

Die geringe erhobene Anzahl an Stichproben pro Prüfglied ($n = 3$) hat zur Folge, daß eine statistische Signifikanz von Mittelwertsunterschieden nur bei sehr großen Differenzen zwischen den Mittelwerten der einzelnen Prüfglieder und gleichzeitig sehr geringer Streuung der Werte innerhalb eines Prüfglieds ausgewiesen werden konnte. Das Fehlen einer Signifikanz bei manchen Vergleichen bedeutet demzufolge nicht, daß kein Unterschied zwischen den Prüfvarianten besteht.

4. Ergebnisse

4.1 Bodenkundliche Befunde

Zur Charakterisierung der Substratverhältnisse und des Ausgangszustands dient das Leitprofil der Probefläche I, dessen Mineralkörper durch Meliorationseingriffe nur minimal verändert wurde.

Es handelt sich um einen Eisen-Podsol aus Phyllit-Schutt, gegliedert in Haupt- und Basislage, mit Resten eines Gelb-Ferralsols im Unterboden. Die Humusform ist ein mächtiger (LO = 12 cm), biologisch inaktiver Rohhumus. Organische Auflage (C/N = 30) und Mineralboden bis 70 cm Tiefe (feinsandig-lehmiger Schluff bis schluffiger Lehm) sind

Tabelle 1. Chemische Eigenschaften des Leitprofils auf Probefläche I.

Table 1. Chemical features of the representative soil profile on plot I.

Horizont	Mächtigkeit [cm]	PH (CaCl ₂)	C _t	N _t	C/N	KAK eff.							(Ca + Mg)- Sättigung [%]
						Ca	Mg	K	Al	H	KAK eff	[mmolc kg ⁻¹]	
L + O	12-0	2,36	503,0	16,8	30	20,5	5,0	6,0	22,7	133,3	192	13	
Ach	0-10	2,77	13,9	0,8	17	0,3	0,1	0,2	35,1	47,0	84	<1	
Ahe	10-28	3,23	3,4	0,3	11	2,7	0	0,4	35,4	4,1	43	6	
Bhs	28-42	3,98	8,6	1,0	9	0,3	0	0,2	19,8	2,4	23	1	
Bv	42-72	4,34	4,1	0,5	8	0,3	0	0,2	8,3	0,7	10	3	
II Cv-rBv	72-82	4,36	1,4	0,2	7	5,3	0	0	2,0	0	7	76	

stark versauert und extrem basenarm (Tab. 1). Erst ab 72 cm Tiefe steigen die Gehalte an austauschbarem Ca und der Basensättigungsgrad an. In der Bodenvegetation dominieren *Vaccinium myrtillus*, *Bazzania trilobata* und *Leucobryum glaucum*.

Die Meliorationseingriffe auf Probefläche II haben die Profilmorphologie des Mineralkörpers nicht verändert; auch hier weist das Leitprofil einen typischen Eisen-Podsol mit Merkmalen reliktscher ferrallitischer Verwitterung im Unterboden aus. Die Humusform ist allerdings ein rohumusartiger Moder mit einer LO-Mächtigkeit von 6 cm. Auf Ver-

Tabelle 2. C_t- und N_t-Gehalte und -Vorräte der Versuchsböden (standflächenrepräsentative Beprobung).Table 2. Concentrations and amounts of C_t and N_t in the experimental soils (area-representative sampling).

Probefläche Nr. Tiefenstufe [cm]	C _t [g kg ⁻¹]	N _t [g kg ⁻¹]	C/N	C _t [kg m ⁻²]	N _t
I					
Org. Auflage	420,6	14,6	28,8	5,4	0,19
0-10	22,5	1,0	22,5	1,9	0,09
10-20	10,9	0,6	18,2	0,9	0,05
20-30	9,1	0,6	15,2	0,8	0,06
				8,9	0,38
II					
Org. Auflage	356,6	13,6	26,2	4,6	0,18
0-10	21,4	1,1	19,5	1,9	0,10
10-20	8,0	0,5	16,0	0,7	0,05
20-30	7,8	0,6	13,0	0,7	0,05
				8,0	0,37
III					
Org. Auflage	409,4	18,3	22,4	3,4	0,15
0-10	28,7	1,7	16,9	1,8	0,10
10-20	8,6	0,8	10,8	0,6	0,06
20-30	9,7	0,9	10,8	0,7	0,06
				6,5	0,37
0					
Org. Auflage	390,1	15,0	26,1	7,2	0,27
0-10	30,1	1,5	20,1	1,9	0,10
10-20	13,2	0,9	14,7	0,9	0,06
20-30	9,6	0,8	12,0	0,7	0,06
				10,7	0,49

suchsfläche III haben Vollumbruch und Einsatz der Scheibenegge die Ach- und Ahe-Horizonte mit den oberen Teilen des Bhs vermischt, so dass die kräftige, durchgängige Bleichung des früheren Ahe aufgehoben ist. Der untere Teil des Bhs ist dagegen i.d.R. noch erhalten; dieser Boden wurde als Braunerde-Podsol klassifiziert. Profil III ist wegen seiner Lage am flachen Oberhang/Rücken etwas steiniger als die beiden Vergleichspedons und trägt ebenfalls rohhumusartigen Moder mit einem 8 cm mächtigen LO. Auf die Darstellung der chemischen Untersuchungsbefunde für die beiden Leitprofile II und III wird aus Platzgründen verzichtet.

Die für die jeweiligen Standflächen der Probefichten repräsentative Beprobung ergab, dass im Jahr 2000 auf der Referenzfläche 18, auf den Versuchsflächen I und II jeweils 13, auf Probefläche III jedoch nur 8 kg m^{-2} Trockenmasse Auflagehumus akkumuliert waren. Die Intensivmelioration von Versuch III hat die Kohlenstoff- und Stickstoffgehalte im obersten Mineralboden (0–10 cm Tiefe) ansteigen lassen, während in den übrigen Tiefenstufen keine Unterschiede zwischen den unterschiedlich meliorierten Böden existieren; jedoch sind die C/N-Verhältnisse in allen Straten von Versuchsglied III eingengt (Tab. 2). Bezüglich des gesamten C-Vorrats in organischer Auflage und Mineralboden bis 30 cm

Table 3. Reaktion und effektive Kationenaustauschigenschaften im Oberboden der Probeflächen (arithmetische Mittelwerte \pm Standardabweichung). Unterschiedliche Buchstaben für Variablen in gleicher Tiefenstufe, aber verschiedenen Probeflächen kennzeichnen signifikant ($p < 0,05$) unterschiedliche Mittelwerte.

Table 3. pH and cation exchange properties in the topsoil of the experimental plots (arithmetic mean values \pm standard deviation). Different letters for variables at the same soil depth of different sampling plots indicate significantly ($p < 0.05$) different mean values.

Probefläche Nr. Tiefenstufe [cm]	pH CaCl ₂	Ca	Mg	K	H [mmol _c kg ⁻¹]	Al	KAK _{eff}	(Ca + Mg)- Sättigung [%]
I								
Org. Auflage	2,6 \pm 0,0 (a)	28,4 \pm 8,3	5,3 \pm 0,7 (a)	7,1 \pm 0,3 (a)	108,5 \pm 24,6	20,2 \pm 4,0	172,6 \pm 20,4	20 \pm 7 (a)
0–10	2,8 \pm 0,0 (a)	1,0 \pm 0,5 (a)	0,3 \pm 0,1 (a)	0,5 \pm 0,2	17,2 \pm 15,2	33,6 \pm 4,3 (a)	54,6 \pm 14,3	3 \pm 2 (a)
10–20	3,4 \pm 0,3	0,4 \pm 0,3	0,1 \pm 0,0	0,3 \pm 0,1	8,2 \pm 4,9	36,9 \pm 2,6	47,2 \pm 2,0	1 \pm 1
20–30	3,9 \pm 0,4	0,4 \pm 0,4	0,1 \pm 0,0 (a)	0,2 \pm 0,0	0,8 \pm 0,7	19,9 \pm 7,6	21,8 \pm 7,1	2 \pm 2
II								
Org. Auflage	2,7 \pm 0,1 (ab)	42,2 \pm 11,7	4,0 \pm 0,4 (a)	3,7 \pm 0,8 (b)	79,1 \pm 18,7	16,9 \pm 2,5	150,4 \pm 12,3	31 \pm 9 (a)
0–10	2,7 \pm 0,1 (a)	1,8 \pm 0,4 (a)	0,2 \pm 0,0 (a)	0,3 \pm 0,2	21,9 \pm 3,9	27,8 \pm 9,2 (a)	54,0 \pm 7,7	4 \pm 1 (ab)
10–20	3,3 \pm 0,3	0,9 \pm 0,4	0,1 \pm 0,1	0,3 \pm 0,2	4,1 \pm 6,3	26,6 \pm 4,9	33,3 \pm 6,9	3 \pm 2
20–30	3,8 \pm 0,2	0,7 \pm 0,5	0,0 \pm 0,0 (b)	0,3 \pm 0,3	2,8 \pm 1,6	22,3 \pm 8,1	26,9 \pm 5,4	3 \pm 3
III								
Org. Auflage	3,1 \pm 0,2 (bc)	73,0 \pm 5,4	8,5 \pm 0,8 (ab)	5,2 \pm 0,4 (c)	52,5 \pm 3,3	12,4 \pm 2,0	159,4 \pm 6,9	51 \pm 2 (b)
0–10	3,2 \pm 0,0 (b)	2,9 \pm 1,6 (ab)	0,5 \pm 0,1 (a)	0,4 \pm 0,1	13,1 \pm 2,8	54,2 \pm 1,9 (b)	74,1 \pm 3,1	5 \pm 2 (ab)
10–20	3,8 \pm 0,2	1,0 \pm 0,8	0,1 \pm 0,1	0,2 \pm 0,1	3,1 \pm 3,3	33,1 \pm 15,4	38,1 \pm 17,6	3 \pm 2
20–30	3,9 \pm 0,1	2,0 \pm 1,0	0,1 \pm 0,1 (ab)	0,4 \pm 0,0	1,8 \pm 1,3	28,6 \pm 2,5	33,8 \pm 3,7	6 \pm 3
0								
Org. Auflage	3,2 \pm 0,5 (a)	108,8 \pm 77,3	15,8 \pm 8,4 (b)	3,8 \pm 0,7 (b)	29,9 \pm 51,8	14,7 \pm 11,5	177,8 \pm 45,0	68 \pm 37 (ab)
0–10	3,0 \pm 0,2 (ab)	5,1 \pm 2,1 (b)	1,1 \pm 0,5 (b)	0,3 \pm 0,1	23,2 \pm 7,3	49,0 \pm 1,7 (b)	82,1 \pm 5,5	8 \pm 3 (b)
10–20	3,5 \pm 0,3	0,8 \pm 0,3	0,3 \pm 0,1	0,3 \pm 0,1	3,6 \pm 3,5	43,8 \pm 12,4	50,3 \pm 13,3	2 \pm 0
20–30	4,0 \pm 0,2	1,2 \pm 0,8	0,1 \pm 0,1 (ab)	0,4 \pm 0,2	2,0 \pm 0,8	22,6 \pm 8,8	27,1 \pm 9,2	5 \pm 2

Tiefe ist Probefläche III den anderen Meliorationsvarianten gegenüber deutlich unterlegen, nicht dagegen im N-Vorrat, weil ihre schwächere N-Ausstattung im LO-Horizont durch stärkere N-Speicherung im Mineralboden ausgeglichen wird. Die Referenzfläche (0) speichert bis 30 cm Tiefe $10,7 \text{ kg m}^{-2} \text{ C}$ und $0,5 \text{ kg m}^{-2} \text{ N}$, wovon 7,2 bzw. $0,3 \text{ kg m}^{-2}$ in der organischen Auflage lokalisiert sind. Ihre Spitzenstellung beruht wahrscheinlich vor allem auf dem Umstand, dass hier seit Bestandesbegründung keine Streunutzung erfolgt ist.

Die Intensität der Meliorationsmaßnahmen bzw. die Höhe der Kalkgaben spiegelt sich auch rund 7 Jahrzehnte nach Versuchsbeginn noch in den pH-Werten, den Gehalten an austauschbarem Calcium und Magnesium sowie in der (Ca + Mg)-Sättigung von organischer Auflage und Mineralboden bis 10 cm Tiefe wider (Tab. 3). Die Referenzfläche übertrifft die Probeflächen I-III bezüglich der Gehalte an austauschbarem Ca und Mg sowie der (Ca + Mg)-Sättigung im Oberboden erheblich, was eindeutig auf eine nicht aktenkundige Kalkung in den 50-iger Jahren hinweist. Auch die Ca-Vorräte der Probeflächen I-III sind nach den unterschiedlichen Kalkgaben von 1924/31 gestaffelt. Die Vorratsberechnung der Tab. 4 wurde dabei nach 2 Verfahren durchgeführt: (a) mit den tatsächlich gemessenen Feinerderaumgewichten (FRG) – dabei schneidet Versuch III wegen der durchweg niedrigeren FRG relativ ungünstig ab; und (b) mit den für jede Tiefenstufe berechneten durchschnittlichen FRG aller Flächen. Hierbei wurde unterstellt, daß die durch die Bodenbearbeitung auf Fläche III erzielte Lockerung inzwischen völlig verschwunden ist, die beobachteten FRG-Differenzen also nur auf verschiedenen Skelettgehalten beruhen. Bei dieser Berechnungsweise schneidet Experiment III etwas günstiger ab (Tab. 4).

Tabelle 4. Vorräte an austauschbarem Ca (kg ha^{-1}) (a) berechnet mit gemessenem Feinerderaumgewicht, (b) berechnet mit durchschnittlichem horizontspezifischem Feinerderaumgewicht.

Table 4. Amount of exchangeable Ca (kg ha^{-1}) (a) calculated using the observed bulk densities (b) calculated using the average horizon-specific bulk densities.

Probefläche Tiefenstufe	(a)	Ca-Vorrat [kg ha^{-1}] (b)
I		
Org. Auflage 0–30 cm	44 61	44 60
	} 105	} 104
II		
Org. Auflage 0–30 cm	110 60	110 54
	} 170	} 164
III		
Org. Auflage 0–30 cm	123 81	123 96
	} 204	} 218
0		
Org. Auflage 0–30 cm	401 92	– –
	} 493	

4.2 Ernährungszustand der Fichten

Die Fichten auf Fläche I litten laut Ausweis der Nadelanalyse im Winter 1999/2000 unter ausgeprägtem Stickstoffmangel, waren jedoch mit allen anderen kontrollierten Nährelementen ausreichend versorgt (Tab. 5). Allerdings waren die Phosphor- und Magnesium-Spiegelwerte nicht weit von der Mangelgrenze entfernt; tatsächlich konnten wir außerhalb

der Probefläche einzelne, z.T. vom Schnee gebrochene Fichten mit Mg-Mangelsymptomen identifizieren. Die Meliorationseingriffe der Versuche II und III, verbunden mit steigenden Kalkgaben, bewirkten auch noch 1999 höhere N-, P-, Ca- und Mg-Spiegelwerte im Bereich guter Versorgung (Ausnahme: P auf III); umgekehrt blieben die K- Gehalte der Fichtennadeln auf den Meliorationsparzellen wahrscheinlich als Folge stärkerer Ca-Konkurrenz zurück, ohne daß allerdings K-Mangel auftrat. Da die durchschnittlichen Trockengewichte der Nadeln auf Probefläche I (0,72 g/100 Nadeln) und II (0,80 g) jene von Probefläche III (0,65 g) übertrafen, ist hier die in 100 Nadeln eingelagerte Nährelementmenge allerdings nicht so stark angestiegen wie die entsprechenden Gehalte. Die Fichten auf der Referenzfläche schließlich waren mit allen 5 Makronährelementen ausgezeichnet versorgt, was nur durch kräftige dolomitische Kalkung (und Phosphordüngung?) zu erklären ist. Die Versorgung mit allen 4 überprüften Spurennährstoffen war 1999 bei allen Probefichten problemlos. Die signifikante Überlegenheit der Manganspiegel auf Fläche III beruht vermutlich auf dem pH-Anstieg nach kräftiger Kalkung, wodurch die Mn-Auswaschung aus dem Oberboden gebremst wurde.

Tabelle 5. Bioelementgehalte der halbjährigen Fichtennadeln (arithmetische Mittelwerte \pm Standardabweichung). Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikant ($p < 0,05$) unterschiedliche Mittelwerte. L = unterer Grenzwert für ausreichende bis optimale Ernährung nach HEINSDORF (1999).

Table 5. Bioelement concentrations in the current spruce needles (arithmetic mean values \pm standard deviation). Different letters indicate significantly ($p < 0.05$) different mean values. L = lower limit for sufficient to optimal nutrition according to HEINSDORF (1999).

Probe- fläche	N	P	K [g kg ⁻¹]	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu [mg kg ⁻¹]	Zn
I	11,0 \pm 0,7 (a)	1,1 \pm 0,1 (a)	6,8 \pm 0,2	2,4 \pm 0,5	0,9 \pm 2,1 (a)	46 \pm 3	289 \pm 104 (a)	3 \pm 1	28 \pm 12
II	13,9 \pm 1,9 (b)	1,5 \pm 2,3 (ab)	5,7 \pm 1,7	4,1 \pm 1,5	1,0 \pm 0,7 (a)	50 \pm 3	460 \pm 28 (ab)	3 \pm 0	24 \pm 3
III	15,5 \pm 0,7 (b)	1,2 \pm 0,7 (a)	4,6 \pm 1,4	4,3 \pm 1,4	1,2 \pm 0,0 (ab)	60 \pm 8	1009 \pm 190 (c)	3 \pm 0	34 \pm 12
0	14,1 \pm 0,9 (b)	1,8 \pm 2,4 (b)	5,7 \pm 0,9	3,3 \pm 0,7	1,5 \pm 0,2 (b)	61 \pm 14	636 \pm 131 (b)	3 \pm 0	33 \pm 13
L	15,8	0,8	4,1	2,1	0,6–0,7				

4.3 Wachstumskennwerte

Aus Platzgründen verzichten wir auf eine Vorstellung der Verläufe von Durchmesser- und Grundflächenwachstum der Probefichten (v. MAMMEN 2001) und beschränken uns darauf, die Kennwerte des Höhen- und Volumenwachstums bzw. -zuwachses zu beschreiben. Dabei werden die Befunde für die jeweils drei Fichten einer Variante zu einem Mittelwert verdichtet.

Das Volumenwachstum unterschied sich zwischen den Probeflächen eklatant (Abb. 1): Die Fichten der nur schwach gekalkten Parzelle I wachsen nur sehr langsam – etwa so wie die Probebäume auf der Referenzfläche während der entsprechenden Altersphase, d.h. vor deren Kalkung um 1960. Die intensive Melioration auf Fläche III (starke Kalkung, Vollumbruch und Hilfspflanzenmitanbau) hat dagegen das Wachstum bis zum heutigen Tag enorm gefördert; die Fichten der Fläche II bleiben in den ersten 40 Jahren nur geringfügig, später jedoch deutlicher dahinter zurück, übertreffen aber während der ganzen Zeit jene der Fläche I. In den Versuchen I und II dürfte der Volumenzuwachs im

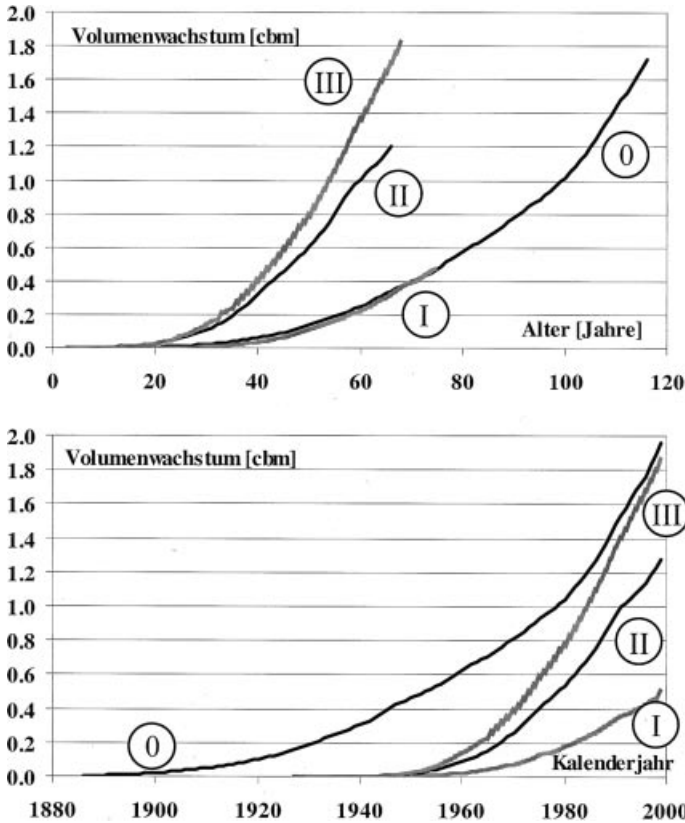


Abb. 1. Durchschnittliches Volumenwachstum der Probebäume auf den Flächen 0 bis III über dem Alter (oben) und über dem Kalenderjahr (unten).

Fig. 1. Average volume growth of the sample trees on the experimental areas 0 – III dependent on age (above) and on the calendar year (below).

Vergleich zu Experiment III anfangs durch den lichten Kiefernüberhalt etwas beeinträchtigt gewesen sein.

Nach 65 Jahren erreicht das Volumen des durchschnittlichen Probebaums auf der Referenzfläche und auf Probefläche I 0,30 bzw. 0,26 m³, wohingegen auf den Parzellen II und III 1,16 und 1,63 m³ geleistet werden. Diese Relationen, d. h. eine Vervier- bis Verfünffachung des Probebaum-Wachstums im Vergleich zu den Parzellen 0 und I, werden auch durch die Darstellung des Volumenzuwachses bestätigt (Abb. 2). Die dritte ertragskundliche Befundgröße, das Höhenwachstum (Abb. 3), zeigt, daß auch hier die Parzellen 0 und I bzw. II und III einen annähernd parallelen Verlauf aufweisen. Während ein mittlerer Baum von Parzelle 0 für eine Höhe von 28 m 115 Wuchsjahre benötigte, wird diese Höhe auf Parzelle III bereits mit 65 Jahren durchschritten.

5 Diskussion und Folgerungen

Im Rahmen der Diplomarbeit (v. MAMMEN 2001), welche dieser Studie zugrunde liegt, konnten leider nur eine sehr beschränkte Zahl von Stammanalysen und auch nur eine extensive Bodenbeprobung durchgeführt werden. Dank der überraschenden Übereinstim-

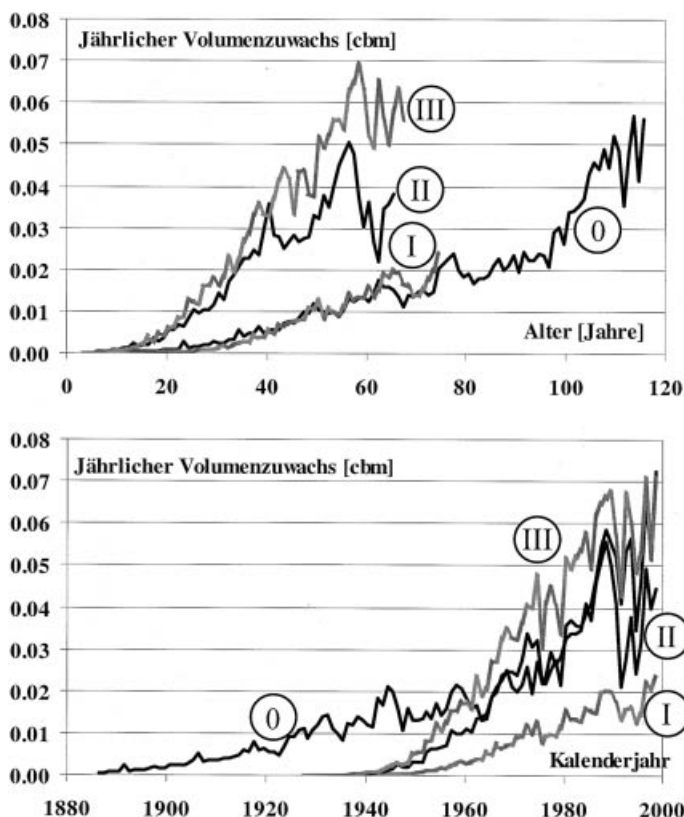


Abb. 2: Durchschnittlicher Volumenzuwachs der Probestämme auf den Flächen 0 bis III über dem Alter (oben) und über dem Kalenderjahr (unten).

Fig. 2. Average volume increment of the sample trees on the experimental areas 0 – III dependent on age (above) and on the calendar year (below).

mung von standorts- und waldwachstumskundlichen Befunden war es trotzdem möglich, die verschiedenen Varianten des Friedenfelder Verfahrens zu beurteilen. Während die Wachstumsverläufe der Probestämme dank der Stammanalysen vollständig rekonstruiert werden konnten, muß auf die boden- und ernährungskundlichen Entwicklungen während der Versuchslaufzeit aus einer einmaligen Erhebung am Ende der Beobachtungsperiode zurückgeschlossen werden; dabei helfen allerdings die Erfahrungen von anderen, annähernd kontinuierlich kontrollierten Experimenten in der Oberpfalz (REHFUESS 1990, PRIETZEL et al. 1996).

5.1 Beurteilung der Meliorationsvarianten des Friedenfelder Verfahrens

Die Probestämme der Referenzfläche – welche nur hinsichtlich des Wachstumsganges vor der unbeabsichtigten Melioration um 1960 als Kontrollfläche herangezogen werden kann – erreichen im Alter 65 eine mittlere Höhe von 18,8 m, was einer Oberhöhenbonität M 24 nach ASSMANN-FRANZ (1963) bzw. einer Ertragsklasse III,7 nach WIEDEMANN m. Df. (1936) entspricht. Die Probestämme der Fläche I waren im Alter von 65 Jahren im Durchschnitt 20,1 m hoch, d. e. ebenfalls einer Oberhöhenbonität von M 24. Die schwache (in

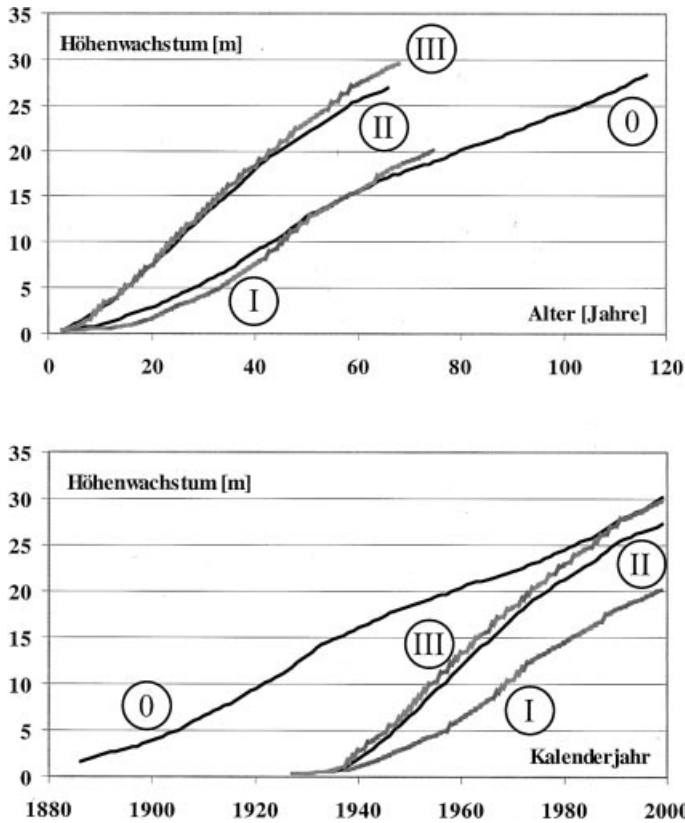


Abb. 3: Durchschnittliches Höhenwachstum der Probestämme auf den Flächen 0 bis III über dem Alter (oben) und über dem Kalenderjahr (unten).

Fig. 3. Average height growth of the sample trees on the experimental areas 0 – III as dependent on age (above) and on the calendar year (below).

ihrer Höhe unbekannt) Kalkung hat demnach keine merkbare Leistungssteigerung bewirkt. Im Gegenteil blieb das Höhenwachstum in den ersten 40–50 Jahren sogar hinter der Vergleichskurve für die Referenzfläche (0) zurück, was wahrscheinlich auf die Entnahme der gesamten Streu und auf die anfängliche Überschirmung durch Kiefernüberhälter zurückzuführen ist. Die ernährungskundlichen Befunde erklären das unbefriedigende Wachstum: Die Probestöcke der Fläche I leiden auch 70 Jahre nach Begründung des Bestandes und trotz inzwischen angestiegenen N-Eintrags aus der Atmosphäre noch immer unter starkem N-Mangel und sind auch nur schwach mit P und Mg ernährt. Wegen der Lage am Unterhang und wegen des geringen Steingehalts im Substrat ist die Wasserversorgung der Fichten eher günstiger als z. B. auf Probestfläche III; dies kann jedoch die Unterernährung mit N nicht kompensieren. Die bodenkundlichen Befunde runden das Bild ab: Die Fichten stocken auf einem extrem basenarmen Eisen-Podsol mit biologisch inaktivem Rohhumus. Die frühere Kalkung hat den stark sauren Charakter des Profils nicht verbessert, die Profilmorphologie nicht verändert und wohl auch die Streuzersetzung nicht beschleunigt. Der durch Streunutzung bei Anlage des Versuchs eingetretene Humus- und Stickstoffverlust wurde nicht ausgeglichen, zumal auch die Streuproduktion vermutlich gering blieb.

Obwohl die beiden Probeflächen I und II bei vergleichbarer topographischer Position und auf demselben Substrat nur 300 m voneinander entfernt sind, unterscheiden sich die Dimensionen der Fichten erheblich. Mit 65 Jahren erreichen die Probebäume im Versuch II eine mittlere Oberhöhe von 26,6 m, das entspricht einer Oberhöhenbonität von M 32–36 nach ASSMANN-FRANZ (1963) oder einer Ertragsklasse von I,5 nach WIEDEMANN m.Df. (1936). Der Verlauf des Volumenzuwachses spiegelt die rasche Wirkung der mit relativ geringem Kostenaufwand durchgeführten kräftigen Kalkung nach Entfernen von Bodenvegetation und Auflagehumus (aber ohne Bodenbearbeitung) wider (Abb. 2): Über mehr als sechs Jahrzehnte hinweg ist der Zuwachs im Vergleich zu den Beständen 0 und I deutlich erhöht, und gegenüber Fläche III geht der Meliorationseffekt erst ab Alter 40 zurück. Das gesteigerte Wachstum beruht auf einer erheblich besseren N-Versorgung, die in abgeschwächter Form auch sieben Jahrzehnte nach Bestandesbegründung noch anhält. Die Horizontfolge des Podsoles ist nicht gestört, und der Humusvorrat in der organischen Auflage und im obersten Mineralboden entspricht annähernd jenem von Probefläche I; indessen sind die C/N-Quotienten in allen Horizonten enger geworden und haben Basensättigung und pH-Wert in der organischen Auflage zugenommen. Diese Verbesserung des chemischen Oberbodenzustands reicht offenbar dafür aus, daß die Mineralisation von Streu und Humus früher und auch jetzt noch intensiver verläuft und einen befriedigenden Ernährungszustand der Fichten gewährleistet.

Auf der mit hohen Kosten nach Abzug des Auflagehumus und der Bodenvegetation sowie Stockrodung durch Vollumbruch, sehr kräftige Kalkung und Anbau von N-sammelnden Hilfspflanzen meliorierten Probefläche III stockten im Jahr 1999 Fichten mit einer Oberhöhe von 29,8 m entsprechend einer Oberhöhenbonität von M 36 nach ASSMANN-FRANZ (1963) oder einer Ertragsklasse von I,1 nach WIEDEMANN m. Df. (1936). Ein Höhenzuwachs von mehr als 60 cm/Jahr und dessen frühe Kulmination im Alter von 20–25 Jahren belegen, dass diese Intensivmelioration des Substrates die Wuchsleistung gegenüber Fläche II noch weiter gesteigert hat. Ihre positive Wirkung hält noch immer an. Diese umfassende Melioration hat über einen langen Zeitraum hinweg die N-, Ca- und Mg-Ernährung verbessert, und nur die P-Versorgung ist etwas schwach. Die Bodenbearbeitung hat zu einer Vermischung von Eluvial- und Anreicherungs-horizont geführt, sodaß der Bodentyp heute als Braunerde-Podsol angesprochen werden muß. Die neugebildete organische Auflage liegt mit $8,4 \text{ kg ha}^{-1}$ um etwa ein Drittel unter jener der Flächen I und II; dafür sind die C- und N-Gehalte im oberen Mineralboden als Folge von mechanischer Einmischung durch Bodenbearbeitung und Bioturbation leicht angestiegen; dennoch bleibt insgesamt die Humusmenge hinter den Vergleichswerten für die Probeflächen 0, I und II zurück. Die N-Vorräte im oberen Solum liegen dagegen für die Experimente I-III auf vergleichbarem Niveau, wobei in Versuch III tendenziell ein größerer Anteil im Mineralboden gespeichert ist. Die C/N-Quotienten sind in allen Horizonten des Pedons III besonders eng. Der N-Verlust ist geringer als der C-Rückgang, weil ein erheblicher Teil des mineralisierten N in der mikrobiellen Biomasse des Bodens gebunden werden konnte. Beim Vergleich der C- und N-Vorräte ist allerdings zu berücksichtigen, daß Fläche III wegen höherer Skelettanteile im Substrat um ca. 15–20% benachteiligt ist, bei der Gegenüberstellung der tatsächlich gemessenen Mengen im oberen Solum also zu schlecht abschneidet. Der pH-Wert und die Basensättigung in organischer Auflage und im Mineralboden bis 10 cm Tiefe sind noch immer erhöht und fördern zusammen mit den niedrigeren C/N-Verhältnis die Streuzersetzung, was die anhaltend günstige Ernährung des Bestandes erklärt. Die deutlich bessere Basenausstattung des Oberbodens (Tab. 3 und 4) ist wahrscheinlich der Grund dafür, daß die Melioration viel nachhaltiger wirkt als auf Probefläche II.

Bodenbearbeitung und extreme Kalkung auf Fläche III dürften v.a. im ersten Jahrzehnt nach Bestandesbegründung die Mineralisation enorm beschleunigt haben, wobei erhebliche C- und (vergleichsweise geringere) N-Verluste entstanden (REHFUESS 1990). Weder die gesteigerte Streuproduktion als Folge der stark verbesserten Wuchsleistung noch die Beimischung von Lupinen und Weißerlen, die sich anfangs üppig entwickelten, haben diese Verluste im Vergleich zum angenommenen Ausgangszustand ausgeglichen. Als Anhalt für letzteren mögen die Vergleichswerte der Referenzfläche (11 kg C m^{-2} und $0,5 \text{ kg N m}^{-2}$) dienen.

5.2 Folgerungen für heutige Meliorationen

Die Ergebnisse der drei Experimente liefern Hinweise dafür, welche Technik zur Melioration stark versauerter, podsolierter Phyllitsubstrate unter ökologischen und ökonomischen Gesichtspunkten am vorteilhaftesten ist; denn ohne Zweifel ist z.B. der um 1924 höchstens schwach gekalkte Podsol der Fläche I auch nach heutigen Kriterien meliorationsbedürftig und -würdig. Dies gilt insbesondere dann, wenn der heutige Fichtenreinbestand mit geringer Lärchenbeimischung in einen Mischbestand mit nennenswerter Beteiligung von Buche und Tanne (Bergahorn, Winterlinde) im Anhalt an die Regionalwaldgesellschaft umgewandelt werden soll. Vor einer Entscheidung für einen Meliorationseingriff ist allerdings in jedem Fall zu prüfen, ob die betreffenden Bestände und Standorte nicht als Kulturdenkmal, aus Naturschutzgründen oder zur Bewahrung einer möglichst großen Ökosystemvielfalt unmelioriert erhalten werden sollen.

Die Entwicklung des Friedenfelser Verfahrens in drei Stufen war zur Zeit seiner Entstehung eine verdienstvolle Pioniertat. Aus heutiger Sicht weist es allerdings einige Schwächen auf. Dazu gehören vor allem die Beseitigung des gesamten Auflagehumus und der Bodenvegetation, die Verwendung extrem hoher Kalkmengen in Form von Ätzkalk (nur II und III) als einmalige Gabe, die Stockrodung und der intensive Vollumbruch (nur III), was zu großen Kohlenstoffverlusten führt, und der Verzicht auf die dem Regionalwald angehörenden Laubbaumarten. Diese Mängel müssen bei Meliorationseingriffen unter heutigen Bedingungen vermieden werden.

Falls nach sorgfältigem Abwägen eine Melioration in Frage kommt, sollte diese unter dem nur schwach gelichteten Schirm des Fichten- (Kiefern-)Altbestandes eingeleitet werden. Auf diese Weise wird eine zu starke Beschleunigung der Mineralisation auf der Kahlfläche vermieden. Auf Stockrodung und Bodenbearbeitung ist unbedingt zu verzichten, ebenso wie auf den früher üblichen Abzug der Streu. Der Auflagehumus muss auf der Fläche verbleiben, denn er stellt ein wertvolles Nährstoff- und Sorbenten-Potential dar. Eine mäßige Kalkung mit rd. 40 dt ha^{-1} dolomitischem Kalk wird den Basenzustand des Oberbodens verbessern, das knappe Nährelement Magnesium zuführen, sowie die Streuzersetzung und die Bioturbation begrenzt anregen. Eine Beisat von Lupine scheidet aus, weil hierfür eine Bodenbearbeitung und eine starke Auflichtung des Altbestandes Voraussetzung wäre. Eine zusätzliche Phosphordüngung z.B. mit rd. 5 dt ha^{-1} Thomasposphat oder Hyperphos soll die P-Versorgung auch anspruchsvoller Baumarten wie der Tanne sicher stellen. Dem Folgebestand sind ca. 30% Baumarten mit leichter zersetzlicher Streu (Buche, Tanne, Bergahorn, Winterlinde) beizumischen, was zusammen mit der mäßigen Aufbasung die Bioturbation durch leistungsfähige Regenwurmarten und damit die Humus- und Stickstoffanreicherung im oberen Mineralboden fördern wird. Auf diese Weise können wüchsige, stabile Mischbestände begründet werden – auch auf Podsolen, deren Profilmorphologie nicht entscheidend verändert, deren chemischer und biologischer Oberbodenzustand aber langfristig verbessert wird (MELZER 1961, REHFUESS 1990, PRIETZEL et al. 1996).

Eine solche Melioration, die den Humuskörper begrenzt umformt, dabei jedoch den Humusvorrat schont, vermeidet weitgehend die Gefahren einer Überschussproduktion von Nitrat und Sulfat in der Umbauphase. Sie wirkt wegen des nur begrenzten Angebots mobiler Anionen und wegen des Erhalts von Huminstoffen, welche als effiziente Ca-Sorbenten fungieren, einer raschen Auswaschung des Dünger-Ca und -Mg entgegen. Ihre positiven Auswirkungen werden nach den Erfahrungen von Friedenfels, aber auch von anderen Experimenten in der Oberpfalz (PRIETZEL et al. 1996) mindestens für 4 bis 5 Jahrzehnte vorhalten. Der Zeitpunkt für eine spätere Wiederholung der Kalkung kann somit weit hinausgeschoben werden und ist seinerzeit durch Boden- und Blattanalysen, durch die Beurteilung der Bodenvegetation und der Humusform festzulegen. Die gerade in Friedenfels nachgewiesene lange Nachwirkung von Kalkungsmaßnahmen mahnt eindringlich zu großer Vorsicht auch bei der Wiederholung sogenannter Kompensations-Kalkungen.

Danksagung

Wir haben zu danken

- Herrn Eberhard Freiherr v. Gemmingen – Hornberg für die Erlaubnis zur Untersuchung der Probeflächen und Herrn Herbert Strößenreuther als Leiter des Forstbetriebs Friedenfels für die Einweisung vor Ort,
- Herrn Gottfried Baur für den entscheidenden Hinweis auf die Probeflächen, die Führung und für viele wertvolle historische Informationen,
- Herrn L. Steinacker, Herrn G. Schütze und Herrn E. Seifert für die tatkräftige Mithilfe bei der Durchführung der Stammanalysen,
- Herrn T. Krauß für sein Mitwirken bei der Anlage der Bodenprofile und der Gewinnung der Bodenproben,
- Frau R. Heibl, Frau K. Richter, Frau Chr. Pfab und Herrn M. Engelschall für ihre Mithilfe bei der Analyse der Bodenproben und
- der Bayerischen Staatsforstverwaltung für die teilweise Finanzierung der Laborarbeiten im Rahmen der Arbeitsgruppe B 21.

6 Literatur

- AMBERG, R. (1949): Das Friedenfelser Verfahren zur Sanierung von Krüppelwaldböden. Allgem. Forstz. 4, 177–179.
- ASSMANN, E. (1965): Düngung und Melioration von Waldbeständen in ertragskundlicher Sicht. Allg. Forstz. 20, 241–251.
- ASSMANN, E., FRANZ, F. (1963): Vorläufige Fichten-Ertragstafel für Bayern. Institut für Ertragskunde der FFA München, 112 S.
- BAUR, F.X. (1948): Kalkdüngung und Bodenbearbeitung – Die Meliorationsversuche im Forstbetrieb Friedenfels. In: Forstwissenschaftliche Praxis, Heft 3 „Der Wald braucht Kalk“. Bayer. Landwirtschaftsverlag München.
- BAUR, G. (1990): Das Friedenfelser Verfahren. Unveröffentlichte Zusammenstellung aus dem Nachlaß von Forstmeister Franz Xaver Baur (80 S.).
- BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR WALD UND FORSTWIRTSCHAFT (Her.) (2001): Karten der Forstlichen Wuchsgebietsgliederung und der Regionalen Natürlichen Waldzusammensetzung Bayerns
- BREDOW-STECHOW, W.V. (1963): Unterbau mit Dauerlupine. Allg. Forstz. 18, 510.
- HEINSDORF, D. (1999): Düngung von Forstkulturen auf Lausitzer Kippen. Manuskript Eberswalde.
- HEINSDORF, D. (2001): Forstdüngung. In „Adam Schwappach – ein Forstwissenschaftler und sein Erbe“, S. 185–195. Her. Landesforstanstalt Eberswalde, Nimrod-Verlag, Hanstedt.
- HOCHTANNER, G., SEITSCHKE, O. (1964): Wuchsleistungen von Kiefernbeständen auf Meliorierungsflächen nach dem Bodenwöhler Verfahren. Forstwiss. Centralblatt 83, 1–23.
- LAATSCH, W. (1963): Bodenfruchtbarkeit und Nadelholzanbau. Bayer. Landwirtschaftsverlag München.

- MAMMEN, A. v. (2001): Bodenzustand, Ernährungszustand und Wachstum von Fichten (*Picea abies* Karst.) auf Probeflächen des Friedenfelser Verfahrens – Oberpfalz. Dipl. Arbeit TU München.
- MELZER, E.W. (1961): Die Nachhaltigkeit des Adorfer Meliorationsverfahrens. Archiv f. Forstw. 10, 1228–1259.
- PRIETZEL, J., GHIDONI, M., KOLB, E. und REHFUESS, K.E. (1996): Nachhaltigkeit der Wirkung von Meliorationsmaßnahmen auf den Säurestatus devastierter Waldböden: Ergebnisse eines Langzeitversuchs in der Oberpfalz. Mitteilgn. der Deutschen Bodenkundl. Gesellschaft 79, 145–148.
- REHFUESS, K.E. (1990): Waldböden – Entwicklung, Eigenschaften und Nutzung. Parey's Studentexte 29, Hamburg – Berlin.
- SCHWAPPACH, A. (1902): Wachstum und Ertrag normaler Fichtenbestände in Preussen unter besonderer Berücksichtigung verschiedener wirtschaftlicher Behandlungsweisen. Mitteilung aus dem forstlichen Versuchswesen Preussens, Verlag J. Neumann, Neudamm, 44–119.
- SEITSCHEK, O. (1962): Oberpfalz – Stammland der forstlichen Melioration in Bayern. Allg. Forstz. 17, 459–460.
- WAGNER, F. (1998): Die Geschichte der Kiefernwälder Ostbayerns und der Wandel ihrer Bewirtschaftung. Forstl. Forschungsberichte München 173, 73–135.
- WIEDEMANN, E. (1927): Die Leguminosendüngung in Ebnath. Forstwiss. Centralbl. 49, 449–468.
- WIEDEMANN, E. (1932): Der gegenwärtige Stand der forstlichen Düngung. Verlag Deutsche Landw. Gesellschaft Heft 385.
- WIEDEMANN, E. (1936/42): Die Fichte. Mitteilungen aus der Forstwirtschaft und der Forstwissenschaft, 10. Jg., 1937, 40 S.
- WITTICH, W. (1952): Der heutige Stand unseres Wissens vom Humus und neue Wege zur Lösung des Rohhumusproblems im Walde. Schriftenr. Forstl. Fak. Göttingen 4.
- WITTICH, W. (1954): Die Melioration streugennutzter Böden. Forstwiss. Centralbl. 73, 211–232.
- WITTICH, W. (1956): 50 Jahre Ebnath. Weitere Untersuchungen über die Melioration extrem ungünstiger Rohhumusböden. Forstwiss. Centralbl. 75, 407–422.

Anschrift der Verfasser: A. v. MAMMEN, M. BACHMANN, J. PRIETZEL, H. PRETZSCH und K. E. REHFUESS, Technische Universität München-Weihenstephan, Am Hochanger 13, 85354 Freising